

NAVRHOVÁNÍ ROTAČNÍCH MÍCHADEL – VĚDA NEBO RUTINA?

Ing. Pavel SEICHTER, CSc., Ing. Luboš PEŠL, CSc.

TECHMIX s.r.o., Křižkova 70, 612 00 Brno, e-mail: techmix@volny.cz

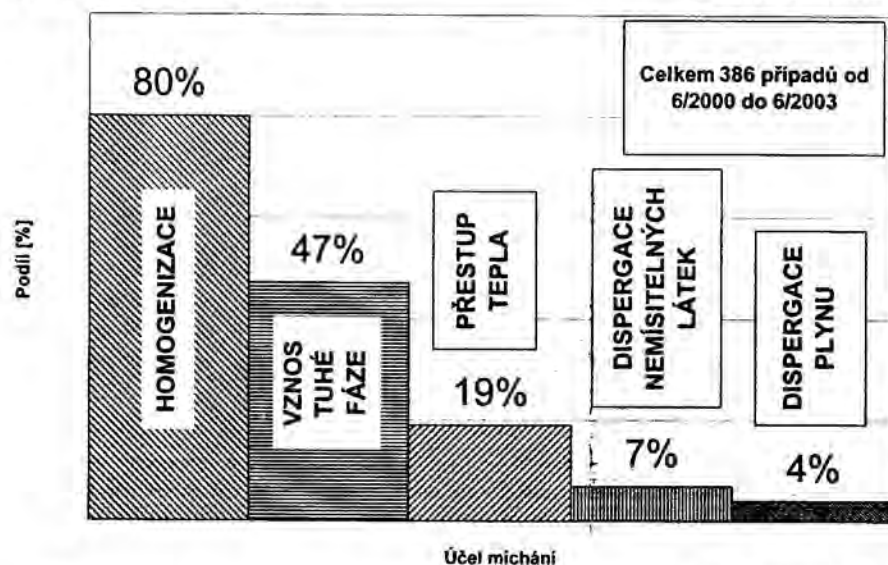
S míchacími zařízeními se setkáváme téměř u všech procesů, kde se pracuje s kapalinami. Účely jejich použití jsou v podstatě následující:

- homogenizace (smíchání více kapalných komponent)
- suspendace tuhé fáze (rozpuštění, krystalizace, homogenizace nebo jen zamezení sedimentace suspenzí)
- intenzifikace přestupu tepla (chlazení, ohřev)
- dispergace (plyn – kapalina, nemísitelné kapaliny, kapalina – shluky tuhé fáze).

U konkrétních případů míchacích zařízení se většinou jedná o kombinaci uvedených účelů, jako např. u chemických reaktorů.

Jak se jednotlivé případy vyskytují v průmyslové praxi je patrné z obr. 1, který byl vyhodnocen z archivu údajových listů firmy TECHMIX [1].

Obr. 1 – Rozložení účelů míchání



Jednotlivé případy realizovaných míchacích zařízení se také liší podle toho, jak „tekutá“ je míchaná látka. Charakter míchaného média je možné zhruba hodnotit jako:

- I – nízko viskozni kapalinu nebo málo koncentrovanou suspenzi,
- II – středně viskozni kapaliny nebo středně koncentrované suspenze,
- III – vysoce viskozni kapaliny nebo značně koncentrované suspenze, často neneutonského chování (nemají konstantní tekutost).

Praxe navrhování a realizace míchacích zařízení tedy přináší nejen kombinace účelů míchání, ale také velkou variabilitu podmínek, ve kterých má míchání probíhat.

Jakým způsobem jsou u nás míchadla navrhována?

Podle toho, co je možné v praxi vidět, lze soudit, že způsoby navrhování i vlastní realizace míchacích zařízení lze rozdělit zhruba do tří úrovní – podle hloubky využití vědeckých poznatků.

A. Navrhování a realizace zcela bez znalostí procesu

Pokud se jedná o míchání kapalin kategorie I a velmi malé objemy vsádek (např. pod 2 m³) není opravdu třeba z navrhování „dělat vědu“.

Případné úspory energie nebo zhoršení kvality promíchávání jsou více méně zanedbatelné a míchadla může úspěšně dodávat téměř každý výrobce.

Závěr: U větších aparátů, dále pokud se jedná o kapaliny kategorie II a III nebo o kombinaci účelů míchání s definovanými podmínkami, může být tento přístup k řešení riskantní. Splnění požadovaného účelu míchání je ponecháno na náhodě, nebo je energeticky příliš náročné.

B. Navrhování a realizace s omezenou znalostí procesu

Tyto postupy vycházejí většinou z aplikace norem míchadel CVS (ČSN) řady 691000 [2], případně využitím poznatků shromážděných v knize F. Streka [3]. Normy míchadel [2] dávají přehled o běžně používaných míchadlech (v době tvorby norem, tj. 1965–1975), ale na otázku, jak správně navrhnout míchadlo, odpovídají jen rámcově a navíc na základě tehdejších poznatků výzkumu (na němž se podíle-

li i pracovníci TECHMIX, ještě ve VUCHZ Brno). Deklarované hodnocení intenzity míchání [2] podle tzv. měrného příkonu P/V_L (W/m³) je však dosti zavádějící – nejen pro každý typ, ale i pro různé relativní velikosti (d/D) stejného typu míchadla dává dost rozdílné účinky!

Využití poznatků z uvedené monografie [3] je pro některá normalizovaná míchadla samozřejmě možné. Podle našich dlouhodobých (více jak 35 let) praktických zkušeností s potenciálními uživateli míchacích zařízení, však v 95 % případů nejsou k dispozici všechny potřebné údaje o fyzikálních vlastnostech, koncentracích, velikostech částic a pod. Navíc podmínky v aparátu často nejsou ustálené: mění se výška hladiny, teploty, koncentrace v průběhu procesu a uspořádání míchacího systému se většinou liší od klasického, se kterým je uvažováno

jak v normách [2], tak i ve výpočtových vztazích uvedených ve Strekově knize [3].

Co však nejvíce brání použití zmíněných výpočtových vztahů pro návrh míchadla a stanovení parametrů, je fakt, že většina potenciálních uživatelů míchacích zařízení není schopna číselně vyjádřit požadavky na míchání a omezuje se na hodnocení typu: „šetrné míchání“, „intenzivní míchání“ a pod. Nebo jsou tyto požadavky kvantifikovány na základě výsledků z jiných aparátů a dozvídáme se, že míchadlo (neurčeno) musí mít např. 50 rpm. Je nasnadě, že uvedený požadavek je nesmyslný a pro řešení míchacího zařízení nepoužitelný.

Závěr: Možnosti řešení u větších aparátů u míchaných médií kategorie (II, III) jsou i v tomto případě omezené, riziko špatné funkce aparátu je sice menší než u postupu A, ale většinou za cenu vyšší energetické náročnosti zařízení.

C. Navrhování a realizace s využitím nových vědeckých poznatků

Úvodem je třeba poznamenat, že pokud někdo deklaruje, že ví vše o míchání, pak jen mystifikuje. Nevědí to ani největší výrobci a dodavatelé míchadel v USA, Německu, V. Británii a Francii aj., kteří pro výzkum, vývoj a navrhování míchadel využívají nejmodernější experimentální a výpočetní techniky, zejména CFD (Computational fluid dynamics).

Měli jsme již možnost se přesvědčit v praxi, že ani míchadla od takových dodavatelů nemusí fungovat perfektně. Důvodů může být více – např. použití simulace procesu pomocí CFD pro suspenze v některých případech není spolehlivá (uvádí i Dr. Bertrand [4], předseda „MIXING working group“ při EFCHE), nebo jsou ze strany zákazníka nepřesně zadané podmínky procesu. Jak říká klasik: „Teorie je šedá, ale zelený je strom života“. Tímto výrokem nechceme snížit význam vědy při navrhování míchadel, zejména u komplikovanějších případů, ale jen naznačit také důležitost praktických zkušeností z realizace, jako zpětné vazby mezi skutečnými účinky míchadla provozní velikosti a jeho simulovanými nebo vypočtenými charakteristikami v navrhované fázi daného průmyslového aparátu.

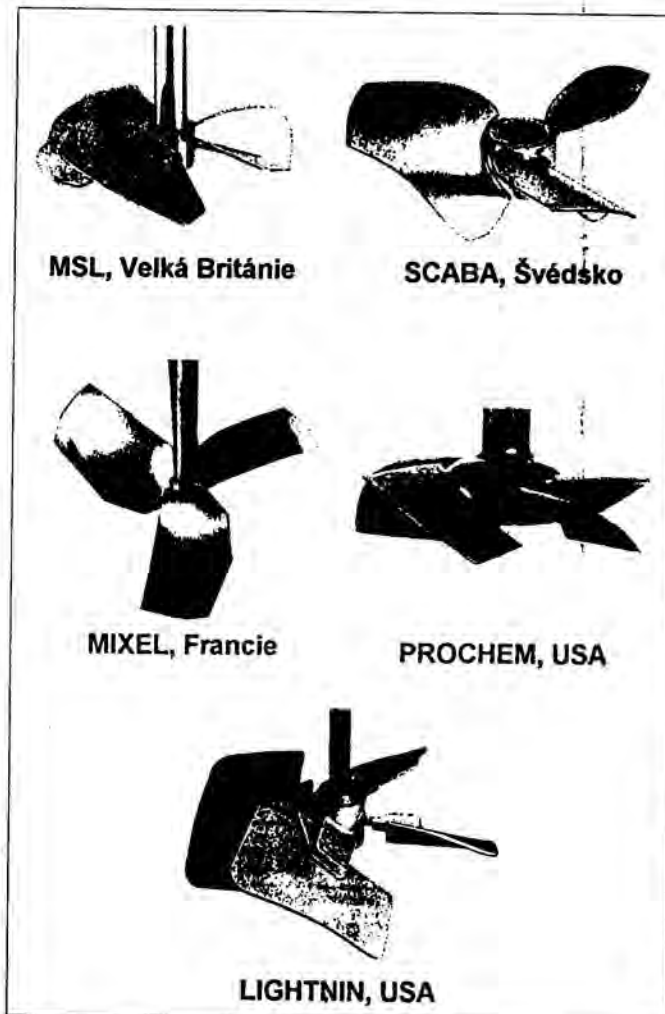
Jak tedy dosáhnout na úspěšné řešení u složitějších případů?

Vycházíme-li z předpokladu výskytu účelů míchání, viz obr. 1, je možné konstatovat, že u více než 90 % případů je třeba zvolit míchadlo s co nejvyšší čerpací účinností. Přímá vazba mezi rychlostí homogenizace, vznosem tuhé fáze v suspenzi a intenzitou přestupu tepla na jedné straně a čerpacím výkonem míchadla na druhé straně, byla již autory tohoto článku vysvětlena na XIII. konferenci MÍCHÁNÍ [1]. Tyto závěry je možné uplatnit v podstatě na všechna uvedená média (I, II, III).

Ukazuje se, že v posledních letech většina významných výrobců míchadel vyvinula a dodává tzv. hydrofoily – míchadla s tvarovanými a většinou i velkoplošnými lopatkami. Tento trend je výsledkem rozsáhlých výzkumů a nepochybně se nejedná o módní prvek, ale řešení, které přináší zejména úspory energie na míchání.

Na obrázku 2 jsou ukázány některé používané hydrofoily některých předních světových dodavatelů míchadel.

Obr. 2



Abychom mohli na příkladu řešení ukázat, co instalace těchto míchadel přináší, je třeba zde prezentovat základní vztahy a závislosti pro míchadla.

Příkon míchadla P:

$$P = P_o \rho n^3 d^5 \quad (1)$$

kde P_o = příkonové číslo, které je obecně závislé na čísle Reynoldsově

$$Re = n d^2 \rho / \mu \quad (2)$$

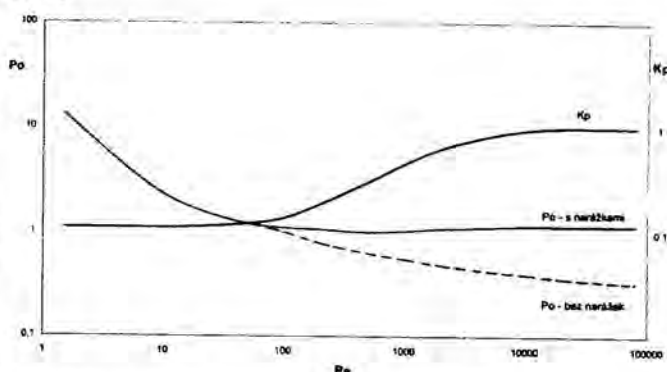
Typická závislost $P_o = f(Re)$ je nakreslena na obr. 3. Z ní je patrné, že v oblasti $Re > 10^4$ (hranice může být u různých typů míchadel také jiná) je P_o konstantní.

Podobně pro čerpací výkon míchadla Q:

$$Q = K_p n d^3 \quad (3)$$

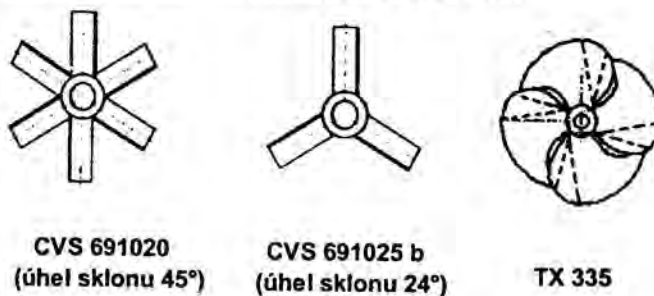
kde K_p = průtokové číslo, které je podobně jako P_o závislé rovněž na Re – viz obr. 3.

Obr. 3



Aby bylo možné porovnat např. hydrofoil TX335 s normalizovanými lopatkovými míchadly CVS 691020 a CVS 691025 b (náhrada vrtulového míchadla) – viz obr. 4., je třeba zde uvést potřebné hodnoty K_p a P_o . Tyto hodnoty byly změřeny shodnou metodikou na pracovišti VUT Brno [5,6].

Obr. 4 – Normalizovaná axiální míchadla a TX 335



Tab. 1 – Hodnoty K_p , P_o míchadel v oblasti $Re > 10^4$

Míchadlo	K_p	P_o
CVS 691025 b	0,52	0,35
CVS 691020	0,99	1,65
Hydrofoil TX335	1,02	1,00

Příklad realizace:

Nádoba: \varnothing 2400 – výška hladiny 2400 se standardními narážkami ($V_L = 10,85 \text{ m}^3$). Míchané médium: voda ($\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$, $\mu = 0,001 \text{ Pas}$). Zvolena velikost míchadla: $d = 0,8$ (pro všechny případy).

Požadavek: Doba cirkulace vsádky 10 s, což odpovídá hodnotě.

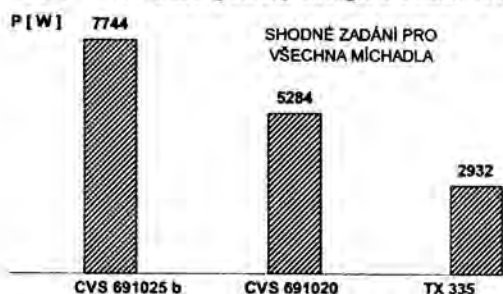
$$Q = 10,85 / 10 = 0,542 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (pro všechny případy).}$$

Graficky je toto porovnání znázorněno na obr. 5.

Jednoduchým výpočtem je tedy možné si ověřit, že aplikace hydrofoilu přináší významné úspory energie na míchání i při míchání

Dokončení na další straně

Obr. 5 – Porovnání spotřeby energie u axiálních míchadel



nízko viskozni kapaliny na středně velkém zařízení. Celkový dopad může být ovšem na větších zařízeních a u viskoznějších vsádek ještě výraznější.

Míchadlo	Vypočtené otáčky ze vztahu (3) $n = Q/(Kp \cdot d^3)$	Potřebný příkon ze vztahu (1)
CVS 691025 b	4,072 s ⁻¹	7 744 W
CVS 691020	2,138 s ⁻¹	5 284 W
TX335	2,076 s ⁻¹	2 932 W

Další dopad zjištěné provozní úspory se navíc projeví na strojním dimenzování zařízení. Je všeobecně známo, že zatížení hřídele míchadla a jeho uložení a velikost převodovky jsou ovlivněny velikostí kroučícího momentu M_k :

$$M_k = P / 2\pi n \quad (4)$$

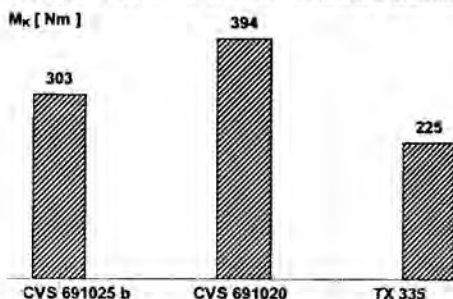
Hodnota M_k je v jistém vztahu k velikosti ohybového momentu hřídele M_o . Hodnoty M_k a M_o jsou pro dimenzování celého míchacího ústrojí rozhodující.

Nyní se můžeme podívat, jak u míchadel z uvedeného příkladu bude vypadat zatěžující moment M_k :

Míchadlo	Kroučící moment ze vztahu (4)
CVS 691025 b	302,8 Nm
CVS 691020	393,5 Nm
TX335	224,9 Nm

V grafické formě je toto porovnání uvedeno na obr. 6.

Obr. 6 – Porovnání zatížení hřídelů u axiálních míchadel



Je tedy vidět, že použití hydrofoílů může přinášet i úspory vyplývající z menších zatěžujících sil a momentů míchacího ústrojí.

Uvedený příklad dokumentuje možnosti úspor energie i investičních nákladů na míchací zařízení, když je jako míchací element použit axiální hydrofoíl. Je třeba rovněž spravedlivě říci, že podobných úspor by bylo možné dosáhnout i při použití jiných hydrofoílů např. hydrofoílu A 315. To potvrzují i výsledky práce z VŠCHT Praha [7] při míchání suspenzí.

Bylo by pochopitelně možné uvedené vypočtené hodnoty zpochybnit jako čistě teoretické. Z provozu realizovaných míchacích zařízení naší firmou však je možné prokázat, že s použitím míchadla TX 335 (chráněného u patentového úřadu [8]) bylo skutečně možné u velkých aparátů úspěšně výrazně snížit spotřebu energie na míchání.

Z velkého množství realizovaných zařízení zde uvádíme 2 aplikace hydrofoílu TX 335, které uvedené možnosti dokumentují (obr. 7 a 8).

Obr. 7 – HOB KAOLIN Kaznějov (1995, 1996, 2001)



18 nádrží 750 m³ pro míchání husté kaolínové suspenze ($\mu_A \sim 1\,500$ cP). Míchadlo ax. hydrofoíl Ø 3 000 mm, pohon 7,5 kW. Měrný příkon < 10 W/m³.

Přínos: Původní řešení s bočními míchadly 2 x 7,5 kW přinášelo neustálé zanášení dna a komplikace s ucpávkami hřídele. Nové řešení pracuje prakticky bez usazování na dně a s poloviční spotřebou energie.

Obr. 8 – ALLACHEM Synthesia Pardubice (1997, 1999)



5 nádrží 150 m³ pro promíchávání kašovitě suspenze celulózy (10 % hm., $\mu_A \sim 3\,000$ cP). 2 x míchadlo ax. hydrofoíl Ø 1 620 mm, pohon 22 kW. Měrný příkon ~ 150 W/m³.

Přínos: Stávající a paralelně pracující aparáty pro stejný účel jsou vybaveny pohony míchadel o výkonu 160 kW a míchání je navíc poměrně zdoluhavé. Nové řešení přináší výrazné snížení energie > 120 kW/aparát při zkrácení doby homogenizace, navíc při značném snížení hladiny hluku.

K uvedené problematice by bylo možné ještě doplňovat celou řadu informací, zejména pro média, která nemají konstantní tekutost – newtonské kapaliny a suspenze. To by však rozsah tohoto příspěvku značně přesáhlo. Samostatný rozbor by pak bylo třeba věnovat i otázkám stanovení zátěžných sil od míchaného média na míchací ústrojí (ohybový moment atd.).

Závěr

Odpověď na otázku, zda je návrh míchadla jednoduchá záležitost nebo opravdu věda, není tedy jednoznačná, ale v každém případě využití vědeckých poznatků může přinést především výrazné úspory energie.

Závěrem ještě zmínka, jak tedy navrhnout parametry míchadla, když je požadavek na míchání jen velmi nejasně definován.

Podle našich zkušeností výzkumných i z realizace velkých zařízení (až 5000 m³) lze vycházet z aplikace postupu, doporučeného pracovníky firmy Chemineer z USA [9], pomocí intenzity míchání I_A

se stupnicí 1 až 10 (podle vizuálního hodnocení pohybu vsádky). Jak vypočítat pro zvolené řešení a parametry míchacího systému hodnotu I_A je ovšem know-how dodavatelských firem. „Měření“ provedené firmou TECHMIX na realizovaných velkých provozních aparátech [1] prokázala přes subjektivnost hodnocení, že naznačený postup dává v tomto směru solidní odhad.

Seznam použitých symbolů:

D – průměr aparátu /m/; d – průměr míchadla /m/;
 I_A – intenzita míchání; n – otáčky míchadla /s⁻¹;
 M – moment (k – kroutící, o – ohybový) /Nm/;
 P – příkon míchadla /W/; Q – čerpací výkon míchadla /m³/s/;
 V_L – objem míchané vsádky; m – dynamická viskozita /Pas/;
 ρ – hustota /kg/m³.

Literatura

1. Seichter P., Pešl L.: Praktické stránky, realizace míchacích zařízení. Přednáška A5 na XIII.konferenci „MÍCHÁNÍ“, Brno 2003
2. Oborové normy míchacích zařízení CVS (ČSN) řady 691000

3. Strek F.: Míchání a míchací zařízení, SNTL Praha 1977
4. Bertrand J., Poux M., Aubin J.: Trans IChemE, Part A, pp.1575 – 1579 (2004)
5. Medek J., Fořt I.: Chemický průmysl 29/54, p.62-68 1979)
6. Seichter P., Pešl L., Medek J.: Paper on IX. Ogólnopolskie Seminarium MIESZANIE, Sborník pp. 118-120, Olsztyn 2002
7. Špidla M., Sinevič V., Hnízdil T.: Paper F4.3, 15. Int.Congress CHISA Praha 2002
8. Axiální míchadlo s tvarovanými lopatkami UV č. 5003 (PUV 1996-5236)
9. Fasano J.B., Bakker A., Penney W.R.: Chem.Engng, August 1994, pp. 110-116

Omluva autorů:

Nedodržovali jsme zde striktně správné označení míchacích zařízení podle normy ČSN 691000, ale spíše v praxi používaná označení (míchadlo = míchací ústrojí). V normě je označován míchadlem pouze míchací element.

NOVÁ TEPLONOSNÁ LÁTKA NA NAŠEM TRHU PRO CHLADICÍ ZAŘÍZENÍ A DALŠÍ APLIKACE

V současných provozech mlékáren, pivovarů, masokombinátů, zimních stadionů a i v chemickém průmyslu (nejen v ČR) je používáno nepřímého chlazení se solankami typu A a R, případně s roztoky propylenglykolu a ethylenglykolu. Také provozovatelé zařízení s přímým chlazením i nadále stojí před problémem snížení náplně čpavku. Tato nutnost vyplývá ze stále se zvyšujících požadavků na bezpečnost chladicích zařízení. Dosud používané teplotnosné látky mají různá omezení, která jsou citována v podkladech výrobců („Bezpečnostní a katalogové listy“).

Při porovnávání vlastností dostupných teplotnosných látek jsme dospěli k závěru, že velmi vhodnou látkou i s velkou perspektivou se nabízí použití další látky s obchodním názvem Freezium.

Freezium je bezglykolová teplotnosná látka, která je vodným roztokem mravenčanu draselného. Obsahuje aditivní složky zabraňující koroznímu a eroznímu opotřebení a jejich účinek je nezávislý na obsahu vody v kapalině Freezia.

Podle kategorizace nebezpečných látek je Freezium látkou netoxickou a nepředstavuje nebezpečí pro vodní organismy. Z hlediska životního prostředí se jedná o směs lehkou biologicky rozložitelnou. Případný únik Freezia (organické znečištění) nepředstavuje riziko pro životní prostředí (atestováno).

Stabilita a reaktivita Freezia

Látky a materiály, s nimiž výrobek nesmí přijít do styku, jsou požívatinu a hořlaviny. Nebezpečné rozkladné produkty při dodržení pracovního postupu nejsou žádné. Nebezpečné reakce nevznikají.

Možnosti použití Freezia

Použití Freezia je vhodné zejména pro následující aplikace:

- chlazení a klimatizace (sekundární teplotnosná látka – např. pro zimní stadiony, TČ),
- chlazení především v potravinářských aplikacích, kde svými vlastnostmi předčí používaný propylenglykol (nižší viskozitou a vyšší tepelnou vodivostí),
- chladicí soustavy spalovacích motorů (mísitelná s glykolovými směsmi),
- vytápění s cyklickým provozem (například chaty a chalupy),
- solární kolektory.

Použití Freezia je vhodné v rozsahu teplot od -5 °C do -55 °C.

V současné době představuje významnou aplikaci Freezia jako náhrada dosud užívaných teplotnosných látek – solanky typu A i R a to do stávajících rozvodů (po proplachu).

Na povrchu materiálů z konstrukčních ocelí, kde dlouhodobě působí Freezium, je zajištěno ukončení procesu pasivace (černění). U nových materiálů je dále povrch také bez koroze a usazeného vodního kamene.

Údaje o nebezpečnosti látky nebo přípravku

Nejzávažnější nepříznivé účinky na zdraví člověka při používání látky / přípravku:

- přípravek není klasifikovaný jako nebezpečný produkt,
- přípravek je neškodný a nemá dráždivé ani toxické účinky na pokožku,
- přípravek je podle kategorizace nebezpečných látek látka netoxická,
- při požití malého množství je nepravděpodobný toxický efekt, ve velkých množstvích může způsobit zaživač potíže a poleptání zaživačského traktu.

Nejzávažnější nepříznivé účinky na životní prostředí při používání látky / přípravku:

- dle nařízení vlády č. 25 / 99 Sb. jde o látku netoxickou pro vodní organismy.

Další nové teplotnosné látky jsou nabízeny s kompatibilitou na bázi ethylenglykolu, pod obchodním názvem Zitrec LC a Zitrec MC (obě látky v doporučené koncentraci od 35 % do 70 %). Také tyto teplotnosné látky obsahují aditivní složky zabraňující koroznímu a eroznímu opotřebení.

Kompatibilita teplotnosné látky na bázi ethylenglykolu a propylenglykolu je nabízena pod obchodním názvem Zitrec AC (v doporučené koncentraci od 7 % jako Zitrec AN a Zitrec AS při použití v zařízení s hliníkovými komponenty). I tyto teplotnosné látky obsahují aditivní složky zabraňující koroznímu a eroznímu opotřebení.

Ing. Vladimír SEVERA, novaterm.ch@wo.cz
 NOVATERM CHOCEŇ, s.r.o.